

# ZUGSICHERUNGSSYSTEME - ASSISTENZ FÜR TRIEBFAHRZEUGFÜHRER?

Sonja Giesemann\*. Dr. Anja B. Naumann.\*

*\*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), 38108 Braunschweig,  
Germany (Tel: +49 531 295 3524, e-mail: [sonja.giesemann@dlr.de](mailto:sonja.giesemann@dlr.de))*

**Abstract:** Fahrzeugbewegungen im Bahnverkehr erfordern aufgrund von Spurbindung und langen Bremswegen ein hohes Maß an Regulierung und technischer Absicherung, um Kollisionen zu vermeiden. Signale sind ein wesentlicher Teil dieser Leit- und Sicherungstechnik, die sämtliche Zugfahrten steuert. Sie müssen in kognitiv beanspruchenden Prozessen der Daueraufmerksamkeit von den Triebfahrzeugführern überwacht werden, die aus ihnen Anweisungen zur Geschwindigkeitsregulation ableiten und umsetzen. Vorbeifahrten von Zügen an Signalen mit Haltbegriff zählen jedoch zu den häufigsten Gefährdungen im Bahnbetrieb. In vielen europäischen Ländern werden daher Zugsicherungssysteme auf Basis punktförmiger Beeinflussung eingesetzt, um die Risiken „zufälliger menschlicher Fehler“ bei der Signalbeachtung zu verringern. Die Gesamtzahl der kritischen Ereignisse bleibt dennoch hoch, da die Systeme erst eingreifen, wenn der Fehler im Bremsprozess bereits eingetreten ist. Zieht man in Betracht, dass Signalverstöße in Fehlerklassifikationen überwiegend auf „ungünstige mentale Zustände“ der Lokführer zurückgeführt werden, sollten die Einflussfaktoren auf deren Entstehung vor diesem Hintergrund systematisch untersucht werden. Aktuell gibt es aber keine empirischen Befunde zu den Auswirkungen, die solche Systeme, beispielsweise die deutsche „PZB 90“, auf die Bedienerzustände und Performanz von Triebfahrzeugführern bei Ausübung ihrer Fahr- und Kontrollaufgaben haben. Ein entsprechendes kognitives Wirkungsmodell für den Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeitsdefiziten und Vorbeifahrten am Haltsignal wurde auf Basis der Arbeiten von Endsley sowie Parasuraman und Manzey entwickelt. Dies wird im vorliegenden Artikel ausführlich dargestellt. In einem weiteren Schritt wird beschrieben, wie dieses Modell in der Simulationsumgebung RailSET® experimentell überprüft werden soll. Dabei wird angenommen, dass es unter Nutzung des Zugsicherungssystems zu Zuständen der verminderten Vigilanz und Passivität der Triebfahrzeugführer kommt, welche auch monotone Bedienerzustände kennzeichnen. Es wird erwartet, dass die Bedienerzustände durch spezifische Verhaltensweisen gekennzeichnet sind. Blickbewegungsmessung soll zum Einsatz kommen, um Verschiebungen in der Aufmerksamkeitsverteilung zu analysieren. Auch Reaktionszeitmaße und ein Nebenaufgabenparadigma sollen Anwendung finden. Im Ausblick werden abschließend Ansätze diskutiert, wie Aufmerksamkeitsdefiziten gezielt entgegenwirkt werden und damit ein echter Assistenz-Charakter der Zugsicherung erreicht werden kann.

## 1. EINLEITUNG

Der Schienenverkehr wird in einem System hochtechnologischer Leit- und Sicherungstechnik abgewickelt. Trotz hoher Sicherheitsstandards und mehrfacher Rückfallebenen in den technischen Assistenz- und Überwachungsfunktionen kommt es jedoch weiterhin zu kritischen Ereignissen und auch Unfällen. Als Ursache hierfür werden meist „menschliche Fehler“ ermittelt. Die genauere Betrachtung zeigt jedoch, dass die Fehlerentstehung häufig durch nachteilige kognitive Anforderungen im Prozess der Mensch-Maschine-Interaktion bei der Bedienung und Überwachung der technischen Systeme durch den Triebfahrzeugführer begründet ist.

Die Forschung im Bereich Rail Human Factors am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) beschäftigt sich daher mit der Beschreibung kognitiver Funktionen und Prozeduren im Arbeitsumfeld des Triebfahrzeugführers und der Aggregation dieser zu Modellen kognitiver Prozesse bei der Aufgabenbewältigung.

Ziel ist es letztlich, aufgrund des Modellverständnisses Strategien zur Fehlervermeidung und Optimierung der Gestaltung von Assistenz- und Überwachungssystemen im Bahnverkehr abzuleiten.

### 1.1 Rahmenbedingungen des Betriebs

Gegenüber dem Straßenverkehr ist der Bahnverkehr durch einige Besonderheiten gekennzeichnet, die zu spezifischen Herausforderungen für den Triebfahrzeugführer führen. Sowohl die Spurbindung aufgrund der Schienen, welche Ausweichmanöver unmöglich macht, als auch das hohe Gewicht der Fahrzeuge in Kombination mit geringen Reibwerten von Rad und Schiene, was zu langen Bremswegen (um 1 km bei Personenzug mit 160km/h) führt, erfordern umfangreiche Sicherungsmaßnahmen zur Gewährleistung eines sicheren Betriebs.

Bahnstrecken werden im Rahmen dieser Maßnahmen in Abschnitte, die sogenannten Blöcke, eingeteilt, an deren Beginn Signale aufgestellt sind, die die Einfahrt in den

jeweiligen Block regeln. Zur Gewährleistung eines sicheren Betriebs werden am Fahrdienstleiter-Arbeitsplatz durch das Ansteuern von Weichen und Signalen Fahrstraßen eingestellt, die jeweils nur für eine spezifische Zugfahrt gültig sind. Eine Fahrstraße besteht dabei stets aus mehreren Blöcken, die nur befahren werden dürfen, wenn sich kein anderer Zug innerhalb des nächsten Blockabschnitts befindet. Die Leit- und Sicherungstechnik in den Stellwerken und Außenanlagen schließt dabei Fahrtsignalisierungen gegeneinander aus, die zu einer gefährlichen Zugbewegung, mit der Gefahr einer Kollision oder Flankenfahrt (seitlicher Zusammenstoß), führen würden.

Sämtliche Zugbewegungen in einem Streckenabschnitt müssen aufgrund dieser betrieblichen Abhängigkeiten gemäß ihrer Fahrzeiten und Fahrwege über einen Fahrplan koordiniert werden.

Für den einzelnen Zug bedeutet dies, dass an jedem haltzeigenden Signal am Beginn eines Blockabschnitts gestoppt und so lange gehalten werden muss, bis der Block durch Fahrtsignalisierung freigegeben wird. Selbst wenn es dadurch zu Verspätungen kommt. Für die sichere Längsführung ist der Triebfahrzeugführer verantwortlich, der aufgrund der langen Bremswege bereits weit im Voraus handeln muss, um einen Haltebegriff einhalten zu können.

Zu jedem Hauptsignal am Anfang jedes Blockabschnitts gehört deshalb ein Vorsignal innerhalb des aktuell befahrenen Blocks, das den Zustand des nächsten Hauptsignals ankündigt. Der Triebfahrzeugführer erhält über diese Signale Informationen und genau definierte Aufträge zur Geschwindigkeitsregulierung, die er aufgrund seines Regelwissens aus dem Signalbild ableitet. Ein klassischer Blockabschnitt muss deshalb mindestens so lang sein, dass ein Zug nach der Vorankündigung des Halt zeigenden Hauptsignals durch das Vorsignal sicher anhalten kann. Ebenso müssen Geschwindigkeitsreduzierungen rechtzeitig ausgeführt werden, um z.B. in Kurven, auf Weichen oder in Baustellen ein Entgleisen zu verhindern und so Schäden für Menschen und Material auszuschließen.

## 1.2 Fehler in der Signalbeachtung

Kommt es bei der Beachtung von Signalen zu Fehlern, können schwere und katastrophale Unfälle die Folge sein, wie es u.a. die Entgleisung in Santiago de Compostela (2013) oder die Zugkollisionen in Granges-près-Marnand und Neuhausen (2013) sowie Hordorf (2011) aus der jüngsten Vergangenheit verdeutlichen.

Das Missachten eines Haltesignals mit daraus resultierender Einfahrt in einen nicht freigegebenen Blockabschnitt muss daher in der Kritikalität einem Beinahe-Unfall gleichgesetzt werden, da es im Bahnverkehr für den Triebfahrzeugführer keine Information darüber gibt, ob und wo sich ein weiterer Zug in diesem Block befindet. Jede Einfahrt in einen „geschlossenen“ Blockabschnitt kann daher unmittelbar eine Kollision durch Auffahren, eine Flankenfahrt oder einen Frontalzusammenstoß zur Folge haben.

Entsprechend werden solche “Signal Passed At Danger” - Ereignisse (SPAD) von der Eisenbahnunfall-Untersuchungsstelle des Bundes (EUB) als Störung betrachtet und sind als Gefährdung meldepflichtig. Gemäß Definition der EUB (2012) ist eine solche Störung „allgemein ein Ereignis im Eisenbahnbetrieb, das den sicheren Betrieb eines Zuges – ohne unmittelbaren Personen-, Sach- oder Umweltschaden – beeinträchtigt.“ Von 752 gemeldeten Störungen handelte es sich im Jahr 2011 in insgesamt 462 Fällen um SPAD-Ereignisse (EUB, 2012). Im Jahr 2012 waren es 415 SPADs bei 723 Störungen (EUB, 2013). Damit zählen SPADs zu den häufigsten Gefährdungen im Bahnbetrieb (siehe Abb. 1).

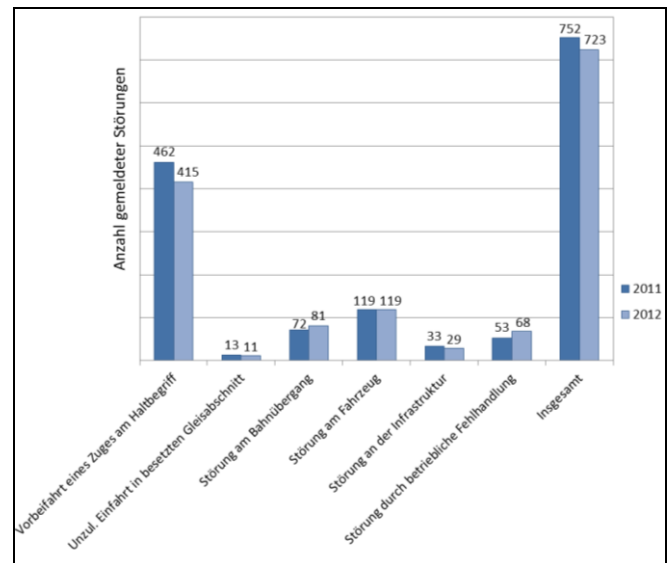


Abbildung 1: Anzahl gemeldeter Störungen gemäß EUB Jahresbericht 2011 & 2012

Zehn bzw. 18 dieser SPAD-Ereignisse wurden darüber hinaus vom EUB (2012, 2013) als Gefährdungen der zweitschwersten Kategorie („Kategorie B: untersuchungswürdige Ereignisse“) eingestuft. Ein solches Ereignis ist sofortmeldepflichtig, hat eine unklare Ursache oder steht unter Verdacht auf systematische Mängel und wird direkt durch die Untersuchungszentrale der EUB untersucht.

Da SPADs in retrospektiven Untersuchungen hinsichtlich der vorliegenden Situationsfaktoren wie Signaltypen und -position, Tages- oder Jahreszeiten, Wetter, Berufserfahrung und anderen Personenaspekten stark variieren, werden diese Ereignisse im Rahmen von Safety-Analysen häufig als Folge „zufälliger menschlicher Fehler“ eingestuft (Nikandros & Tombs, 2007).

## 1.3 Überwachung durch Zugsicherung

Fahrzeugseitige Sicherungskomponenten, sogenannte Zugbeeinflussungssysteme, werden aufgrund dieser Sichtweise als sinnvolles Mittel betrachtet, um das Einhalten der für den sicheren Bahnbetrieb erforderlichen Blockabstände zu überwachen. Sie signalisieren dem Lokführer einzuhalten Bremskurven über Leuchtmelder oder Displays, prüfen Höchstgeschwindigkeiten und

Signalhalte und lösen bei einem Fehlverhalten automatische Zwangsbremungen aus, die den Zug zum Halten bringen.

Das deutsche Zugbeeinflussungssystem „PZB 90“ stellt eine Ausprägungsform der punktförmigen Zugsicherung dar, welche in vergleichbarer Funktionsweise auch z.B. in Österreich (Indusi) oder der Schweiz (Integra-Signum und ZUB) eingesetzt wird. Diese kommt zur Überwachung von Zugfahrten mit Höchstgeschwindigkeiten bis 160 km/h zum Einsatz und ist das in Deutschland verbreitetste System.

Unter PZB-Überwachung müssen Lokführer z.B. an einem warnenden Vorsignal durch Drücken eines einfachen „Wachsam“-Tasters quittieren, dass das Signal wahrgenommen wurde. Die Betätigung dieses Tasters geht unabhängig vom Signalbegriff mit einem Quittierungston einher. Bleibt innerhalb eines definierten Zeit/Weg-Fensters nach dem warnenden Vorsignal die Quittierung oder in der Folge das Abbremsen auf das Hauptsignal hin aus, kommt es zur automatischen Zwangsbremung.

Neben der haptischen Komponente verfügt die PZB bordseitig außerdem über eine visuelle Anzeige, die Leuchtmelder (siehe Abb. 2). In dieser Anzeige sind Informationen zu Bremskurven, bzw. Zielgeschwindigkeiten in Form dreier blau hinterlegter Ziffernanzeiger sowie zur Überwachung nach einem warnenden Vorsignal (gelber 1000Hz-Anzeiger) und vor einem haltzeigenden Hauptsignal (roter 500Hz-Anzeiger) codiert.

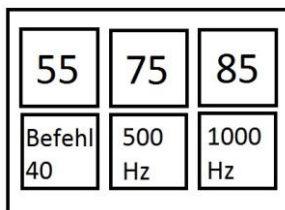


Abbildung 2: Schematische Darstellung der PZB Leuchtmelder

Dabei ist der 1000Hz-Anzeiger von besonderem Interesse, da er erst dann aufleuchtet, wenn die Wachsamkeit nach Vorbeifahrt an einem warnenden Vorsignal quittiert wurde. Der 1000Hz-Anzeiger bleibt dann so lange beleuchtet, bis die Überwachung bei Zufahrt auf einen Haltebegriff vor dem Hauptsignal durch einen 500Hz-Magneten abgelöst wird oder sich der Triebfahrzeugführer bei Zufahrt auf einen Fahrtbegriff aus der Überwachung durch einen weiteren Tastendruck „befreit“.

Die Anzeige bietet dem Triebfahrzeugführer also eine kontinuierlich verfügbare Information über den Zustand des zuletzt passierten Vorsignals und entsprechend voraussichtlichen Zustand des nächsten Hauptsignals sowie die gegebene Notwendigkeit zur Geschwindigkeitsanpassung.

Inzwischen sind 94% des Streckennetzes in Deutschland mit Zugsicherung ausgerüstet und 98% aller gefahrenen Zugkilometer werden überwacht (Stand 2012; EUB, 2013).

#### 1.4 Fortbestand kritischer Ereignisse

Die Zahl der unzulässigen Vorbeifahrten an Haltesignalen bleibt trotz dieser hohen Ausrüstungsquote in Deutschland aber weitgehend konstant (vgl. Abb.1). Auch in anderen europäischen Ländern, wie z.B. Großbritannien, hat sich gezeigt, dass mit der Einführung von Zugbeeinflussungssystemen zwar das aus dem gefährlichen Ereignis resultierende Risiko, nicht aber die Gesamtzahl der SPADs minimiert wurde (RSSB, 2013).

Als Ursache hierfür kann die technische Auslegung der punktförmigen Systeme angenommen werden. So ist die PZB „nicht signaltechnisch sicher“ (Pachl, nach Heinrich, 1997). Das heißt die Systemgestaltung ist nicht darauf ausgelegt, das Eintreten einer kritischen Situation (SPAD oder überhöhte Geschwindigkeit) zu verhindern. Die automatische Zwangsbremung wird erst dann an einem fixen Kontrollpunkt ausgelöst, wenn das Fehlverhalten bereits stattgefunden hat. Somit wird lediglich die Distanz minimiert, welche das Fahrzeug entgegen der geltenden Vorgaben zurücklegt.

Um das durch den Systemeingriff abgedeckte kritische Ereignis zu verhindern und auch in Situationen ohne zusätzliche Überwachung sicher zu fahren, müssen Triebfahrzeugführer also trotz der Zugsicherung sämtliche Signalisierungen und Geschwindigkeitsbeschränkungen antizipieren sowie die für den Bremsprozess relevanten Fahrzeug- und Umweltfaktoren dauerhaft aufmerksam überwachen. Zusätzlich benötigen sie Streckenkenntnis über das Terrain, die Signalstandorte und die Streckenhöchstgeschwindigkeiten sowie die Lagen und Beschränkungen von Kurven, Bahnhöfen, Baustellen und sonstigen Langsamfahrstellen. Darüber hinaus muss besonders im Personenverkehr nach der pünktlichen Einhaltung des Fahrplans gestrebt werden (vgl. u.a. Branton, 1979; Roth & Multer, 2009; Rose & Bearman, 2012; Naweed, 2013).

## 2. PROBLEMSTELLUNG

Es erscheint angesichts dieser Anforderungen wenig verwunderlich, dass Fehler von Triebfahrzeugführern im Zusammenhang mit Unfällen und gefährlichen Ereignissen in vielen Fällen durch die Beeinträchtigung ihrer kognitiven Leistungsfähigkeit erklärt werden können.

### 2.1 Fehlerursachen

In empirischen Untersuchungen werden vorwiegend Vigilanzeinbußen bei Monotonie und Müdigkeit als zugrundeliegende Konstrukte bei solchen Defiziten identifiziert (vgl. u.a. Wilde & Stinson, 1983; Buck & Lamonde, 1993; Edkins & Pollock, 1997; Dorrian et al., 2006).

Ebenfalls werden falsche Erwartungen aufgrund von Erfahrung und Gewohnheit als Einflussfaktoren auf die fehlerbedingenden „ungünstigen mentalen Zustände“ angeführt (Baysari et al., 2008).

Aktuell erhält außerdem die Anfälligkeit für Ablenkung und/oder Unaufmerksamkeit im Kontext von Mehrfachaufgaben und Zielkonflikten bei der Fahrzeugführung zunehmend Beachtung. Unter dem Begriff „misappropriated attention“ verweisen z.B. Naweed & Rainbird (2013) auf eine unter Umständen freiwillige, aber unangemessene Verschiebung des Aufmerksamkeitsfokus als mögliche SPAD-Ursache, wenn von einer sicherheitsrelevanten zu einer nicht unmittelbar sicherheitsrelevanten Tätigkeit (bspw. von der Signalbeobachtung zur Kontrolle der Fahrplanzeiten) gewechselt wird.

Vereinzelt wird im Kontext von Unfall- und Zwischenfallanalysen auch auf die Gestaltung der Zugsicherungssysteme als mögliche Ursache für Aufmerksamkeitsdefizite und nachfolgende Fehler hingewiesen (Baysari et al., 2008; Edkins & Pollock, 1997).

Studien zur Überprüfung solcher Ursachenzusammenhänge bei Aufmerksamkeitsdefiziten in der Arbeitsumgebung von Triebfahrzeugführern liegen trotz des umfassenden und über die Zeit kontinuierlich erweiterten Bewusstseins für die Problematik im Bahnbetrieb bisher jedoch nicht vor. Eine tiefergehende Betrachtung der Ursachenzusammenhänge erscheint daher notwendig.

## 2.2 Aufmerksamkeit und die Rolle der Zugsicherung

Mit dem „MARS“-Verfahren (Model for Assessing and Reducing SPADs; Wright et al., 2000) wurde bereits ein Safety-Analyse-Ansatz entworfen, mit dem SPAD-Untersuchungen über die involvierten Aufmerksamkeitsprozesse klassifiziert und mit Hilfe eines komplexen Einflussfaktoren-Modells die zugrunde liegende Hauptursache identifiziert werden sollen. Dieser Ansatz führt drei übergeordnete Verarbeitungsstufen ein (detection, decision & response; ebd.) und schlägt zu jeder Stufe einen Fehlerbaum beteiligter Systemelemente vor, wobei u.a. die Zugsicherung, ein falscher Aufmerksamkeitsfokus und Fehler in der Signaldetektion einen Zweig bilden können.

Dass die Zugsicherung, wie im MARS-Modell angenommen, eng mit unerwünschten Aufmerksamkeitseffekten bei Triebfahrzeugführern zusammenhängt, wurde im Rahmen einer von den Autoren durchgeführten Fokusgruppe deutlich. Auf die Frage, wie wichtig das Zugsicherungssystem für ihren Dienstalltag sei, äußerten die 6 Teilnehmer aus Güter- und Personenverkehr (Alter: 26-53 Jahre; Berufserfahrung: 6-37 Jahre) von verschiedenen Eisenbahnverkehrsunternehmen ausnahmslos und übereinstimmend Beschreibungen veränderter kognitiver Leistungsfähigkeit, bzw. Leistungsbereitschaft unter PZB Überwachung.

Ihre Aussagen ließen sich den vier Kategorien in Tabelle 1 zuordnen.

Explorative Beobachtungen und Befragungen bei Führerstandsmitfahrten zeigten ähnliche Tendenzen bei Nutzung der „Lebensversicherung“ PZB.

Tabelle 1. Kognitive Schwierigkeiten bei PZB-Nutzung

| Kategorie                                     | Beispiel 1  | Beispiel 2  |
|---|---|---|
| <b>Verminderte Kompensation bei Müdigkeit</b> | Nach PZB Eingriff ist man erstmal wieder wach                         | Wenn man PZB nicht hat, schläft man auch nicht ein                                  |
| <b>Reduzierte Vigilanz-Anstrengung</b>        | Statt 2 Mal guckt man draußen ohne das System lieber 3 oder 4 Mal hin | Auf Strecke ohne Ausrüstung, war man immer hellwach und wurde gefordert             |
| <b>Verlagerung des Aufmerksamkeitsfokus</b>   | Oft fragt man sich, ob am Signal wirklich Fahrt gegeben war           | Man schaut ins Display und entscheidet, wenn da nichts angezeigt wird war auch grün |
| <b>Geringere Selbstkontrolle</b>              | Überwachung der eigenen Bedienhandlung ist immer im Unterbewusstsein  | Zwangsbremung nach versäumter Bedienung am Vorsignal ist nicht so schlimm           |

Dieser Zusammenhang zwischen Zugsicherung und Aufmerksamkeitsdefiziten wird durch empirische Studien zu Automatic Warning System (AWS) und Automatic Train Protection (ATP) aus Großbritannien zusätzlich gestützt. Hier zeigte sich, dass Warnungen von Zugsicherungseinrichtungen durch den Triebfahrzeugführer quittiert werden, ohne dass das entsprechende Signal tatsächlich wahrgenommen wurde. Crick et al. (2004) stellen fest, dass die Reaktionszeiten für AWS-Quittierungen sehr kurz (0,5 Sek) und konstant sind, und in einer Befragung (ebd.) gaben 49,5% von 651 Triebfahrzeugführern an, schon mehrfach Warnungen bestätigt haben, ohne das Signal anzusehen. Auch McLeod, Walker & Mills (2005) gehen aufgrund der kurzen Reaktionszeiten (0,6 Sek) von erlernten oder erwartungsbasierten AWS-Quittierungen aus und geben an, dass 56% der von ihnen befragten 277 Triebfahrzeugführer mitteilten, schon automatisch Warnungen quittiert zu haben.

Im Kontext der zuvor beschriebenen fortbestehenden SPAD-Ereignisse und der ihnen zugrundeliegenden kognitiven Schwierigkeiten von Triebfahrzeugführern ist das Verständnis von punktförmigen Zugsicherungssystemen als Assistenz, im Sinne einer Unterstützung „hinsichtlich Wahrnehmung, Fahrplanung und Bedienung“ (DVR, 2006), angesichts dieser Befunde klar in Frage zu stellen.

Es muss nun systematisch untersucht werden, wie die Interaktion mit der Zugsicherung bei der Entstehung von SPAD-Ereignissen, bzw. generell in der Entstehung problematischer Aufmerksamkeitszustände wirksam wird.



### 3. THEORETISCHES WIRKUNGSMODELL

Hierfür bieten sich etablierte psychologische Modelle für die menschliche Informationsverarbeitung bei der Steuerung und Überwachung von (technischen) Prozessen als Basis an. Solche Modelle versuchen Aufmerksamkeits- und Wahrnehmungsprozesse mit den technischen, individuellen und sonstigen, kurz- wie langfristigen, Situationsfaktoren in Bezug zu setzen. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Beschreibung des Weges der Information von der Wahrnehmung über die Verarbeitung bis zur Entscheidung und entsprechenden Reaktion und deren möglichen Konsequenzen.

#### 3.1 Zugsicherung als Faktor bei Situation Awareness und Automationsphänomenen

Das Konzept der „Situation Awareness (SA)“ von Mica Endsley (2000) stellt ein viel zitiertes, wenn auch nicht unumstrittenes Modell dieser Wirkzusammenhänge dar (siehe Abb. 3). In seinem Zentrum steht das Situationsbewusstsein (3) eines Bedieners, welches das korrekte Erkennen kritischer Elemente (Level 1) und Verstehen des Zustands im Kontext aller Faktoren unter dem gegebenen Ziel (Level 2) sowie die Antizipation der zukünftigen Entwicklung (Level 3) in einer Situation voraussetzt. Auf dieser Basis fällt ein Bediener Entscheidungen (a) und wählt Handlungen (b) aus, die im Falle eines unvollständigen Situationsbewusstseins falsch sein können und somit Fehler begünstigen. Das Situationsbewusstsein und die resultierenden Entscheidungen und Handlungen werden dabei direkt aus dem Umweltzustand gespeist. Gleichzeitig werden alle drei Prozessschritte durch die Erfahrung und das Wissen, Ziele und Erwartungen (2) und die Informationsverarbeitungs-Mechanismen (4) des Bedieners einerseits sowie andererseits durch die Aufgaben- und Systemeigenschaften, wie Automation, Systemgrenzen und Interface-Design (1) beeinflusst.

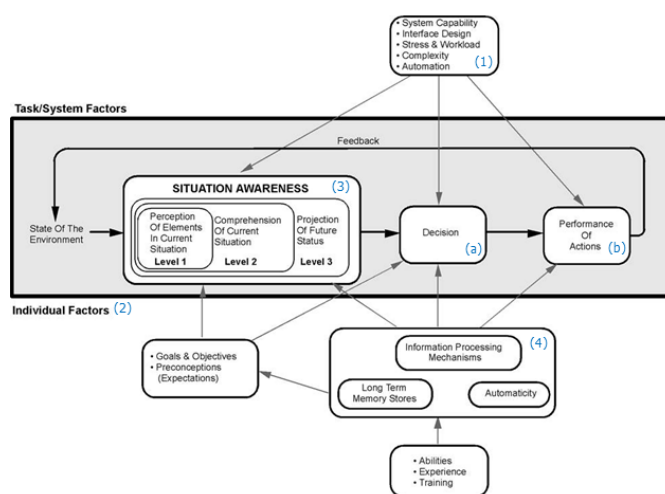


Abbildung 3: Modell der Situation Awareness (nach Endsley, 2000, S.6)

Der größte Kritikpunkt dieses Modells liegt in der fehlenden Beobachtbarkeit von SA und der Feststellung, dass ein Verlust von SA nicht zwangsläufig zu einem Fehler führt. Fehlendes Situationsbewusstsein ist damit eher als Symptom von Unfällen und Zwischenfällen zu betrachten, ebenso wie die in Kapitel 2.1 beschriebenen Aufmerksamkeitsdefizite bei Triebfahrzeugführern. Als Modell zur Identifikation von Ursachenzusammenhängen fehlt hier Linearität.

Es lassen sich jedoch auf Basis des Modells Schwierigkeiten in der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle der PZB unter den gegebenen technischen Rahmenbedingungen identifizieren.

Die in Kapitel 1.3 dargestellte Interaktionsgestaltung, insbesondere der Informationsgehalt der Leuchtmelder, zeigt Parallelen zwischen der Display-Information und den 3 SA-Levels auf. Quittiert der Triebfahrzeugführer in der Vorbeifahrt an einem Vorsignal die Wachsamkeitstaste, gibt der 1000Hz-Anzeiger ein Feedback zur Signalstellung und erleichtert so das Verifizieren des kritischen Parameters „Vorsignal in Warnstellung“, z.B. unter schwierigen Sichtbedingungen (Level 1). Der nun aktive 1000Hz-Anzeiger in Kombination mit dem blauen Ziffernanzeiger erinnert nachfolgend daran, dass gebremst werden muss, auch wenn der Zug u.U. verspätet ist (Level 2). Darüber hinaus unterstützt die Anzeige die Prognose der zukünftigen Situation aufgrund des Vorwarncharakters des Vorsignals (Level 3). Diese Prognose wird zusätzlich aktualisiert, sobald die 500Hz-Überwachung erreicht wird. Aktiviert sich der entsprechende 500Hz-Anzeiger, verweist dies auf ein weiterhin haltzeigendes Hauptsignal.

Für die korrekte, rechtzeitige und damit sichere Ausführung der notwendigen Geschwindigkeitsanpassungen bleibt aber der Triebfahrzeugführer verantwortlich. Damit stellt sich das System ähnlich einer Automatisierung mit „Decision Support“-Funktion dar. Das entspricht einem niedrigen Automationslevel, welches Bediener in der Durchführung kognitiver Aufgaben lediglich durch Empfehlungen des Systems unterstützt (Endsley, 1996).

Solche Automation kann laut Endsley (ebd.), gemäß ihres Modells, (Abbildung 3, Ziffer 1) zu verringertem Situationsbewusstsein führen, indem

1. sich das Überwachungsverhalten gegenüber dem System und der von ihm abgedeckten Parameter verschlechtert,
2. der Bediener bei Entscheidungen eine passive Rolle einnimmt und sich auf Empfehlungen des Systems verlässt und
3. durch das System-Feedback Informationen, z.B. Hinweisreize für kritische Elemente, verändert oder überlagert werden.

Da das PZB-System aber keine signaltechnische Sicherheit besitzt (siehe Kap. 1.4), stellen die tatsächlichen Signalbegriffe die einzige verlässliche Quelle für entscheidungskritische Informationen dar. Eine Reduzierung ihrer Überwachung und Verwendung der PZB-Anzeige als

Grundlage für die Handlungsableitung beim Bremsprozess wäre somit nicht nur Basis eines unvollständigen Situationsbewusstseins sondern auch ein Beispiel von „misuse of automation“ (Parasuraman, 1997). Dieser Ausdruck beschreibt Fälle in denen sich Bediener stärker auf ein System verlassen, als es seine technischen Grenzen in der betreffenden Situation zulassen würden. Somit werden Fehler in den systembezogenen Überwachungstätigkeiten („complacency“) oder falsche Entscheidungen („automation bias“) begünstigt (ebd.).

Parasuraman & Manzey (2010) greifen diese Überlegungen auf und führen die Automationsphänomene im Hinblick auf ihre kognitiven Auswirkungen unter dem Begriff „attentional bias“, also einer Verzerrung der Aufmerksamkeit, zusammen.

Dabei entwickeln sie ein stärker lineares Modell, welches den Verlust des Situationsbewusstseins (3) als Folge der beeinträchtigten Informationsverarbeitung (4) im Kontext automatisierter Systeme abbildet (siehe Abb. 4). Im Modell werden alle Aspekte berücksichtigt, die auch in Endsleys SA-Modell zu finden sind.

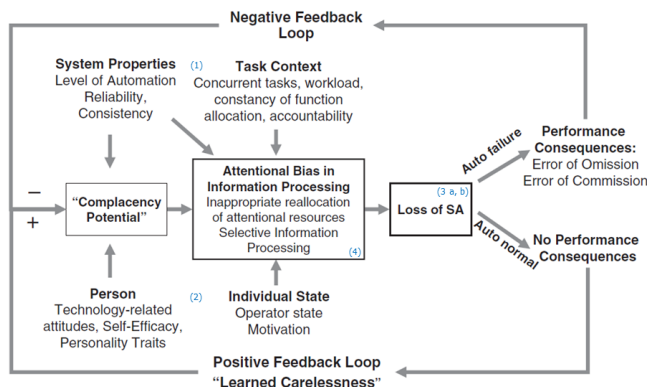


Abbildung 4: Integriertes Modell von Complacency und Automation Bias (nach Parasuraman & Manzey, 2010, S.404)

Es wird, wie schon bei Endsley, angenommen, dass die Einstellungen und Zustände von Bedienern (2), ebenso wie die Aufgaben- und Systemeigenschaften (1), Einflussfaktoren im Fehlerentstehungsprozess darstellen. Sie wirken auf die Bereitschaft, einem System übermäßig zu vertrauen oder direkt auf die unangemessene Aufmerksamkeitsverteilung, was den SA-Verlust zur Folge hat.

Dabei wird der Einfluss der Systemeigenschaften, d.h. das implementierte Automationslevel, die Zuverlässigkeit und Konsistenz des Systems, besonders hervorgehoben. Es wird angenommen, dass diese über das Systemvertrauen und die Informationsverarbeitung parallel wirksam werden.

Aufgrund von Feedbackschleifen wird eine zusätzliche Verstärkung der problematischen Aufmerksamkeitszustände erwartet, da bei normaler Funktionalität der Automation keine negativen Konsequenzen spürbar werden.

Fehler treten gemäß diesem Modell dann auf, wenn Entscheidungen und Handlungen unter mangelndem Situationsbewusstsein (a, b), mit dem Ausfall der Automation zusammenfallen. Die Bediener reagieren dann falsch („error of comission“) oder gar nicht („error of omission“).

Diese Fehler lassen sich, anders als das Situationsbewusstsein, direkt beobachten. Somit können die Einflüsse der menschlichen und technischen Faktoren in diesem Modell über die auftretenden Fehlertypen und Fehlerhäufigkeiten in Ausfallszenarien untersucht werden.

Da den menschlichen Fehlern bei Vorbeifahrten am Haltsignal im Bahnsystem aber in der Regel keine Ausfälle der Zugsicherung im technischen Sinne vorausgehen, ist es letztlich notwendig, die Entstehung des „attentional bias“ weiter aufzuschlüsseln.

### 3.2 Systembezogenes Entstehungsmodell von Aufmerksamkeitsdefiziten

Hierfür wurde das in Abbildung 5 dargestellte Modell der Bedienerbeeinflussung entwickelt. Da es auf den beiden zuvor beschriebenen Konzepten fußt, werden alle bereits etablierten Einflussfaktoren aufgenommen und verknüpft. Dabei unterscheidet es sich durch seine lineare Prozessstruktur von den bisherigen Ansätzen.

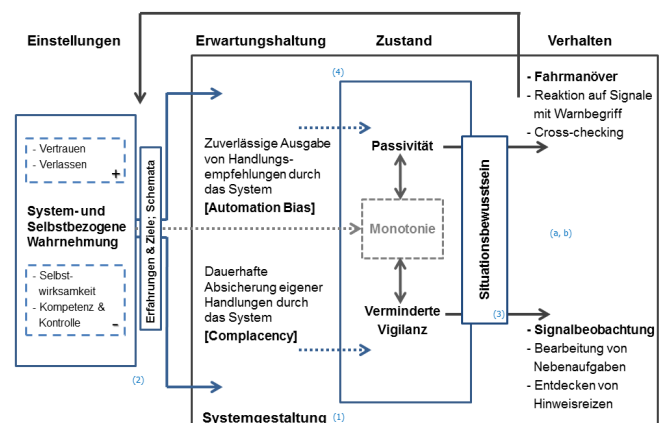


Abbildung 5: Systembezogenes Entstehungsmodell von Aufmerksamkeitsdefiziten

Einstellungen, in Form von system- und selbstbezogenen Wahrnehmungen, Erfahrungen und Zielen der Bediener (2), bilden die Ausgangsbedingungen der Steuerungs- und Überwachungstätigkeit.

Vor diesem Hintergrund werden Informationsverarbeitungsstrategien anhand von Erwartungshaltungen bezüglich der Systemkompetenzen entwickelt, die sich in spezifischen Aufmerksamkeitszuständen niederschlagen (4).

An die Stelle des von Manzey & Parasuraman (2010) generierten Konstruktes „attentional bias“ treten dabei die beiden parallel wirkenden Komponenten „complacency“ und „automation bias“.

Complacency bezieht sich als erster Teilaspekt der Aufmerksamkeitsbeeinträchtigung auf die Überwachung von Informationen in einem automatisierten System. Nimmt der Bediener an, dass bestimmte Handlungen zu jeder Zeit durch das System überwacht werden, kommt es zu Einschränkungen in der Überprüfung des Systemzustands (Parasuraman et al., 1993). Die Bediener zeigen infolgedessen verminderte Vigilanz bei der betreffenden Kontrollaufgabe.

Als zweiter Teilaspekt beschreibt Automation Bias die Beeinträchtigung durch technisch unterstützte Entscheidungsprozesse. Wird das System als zuverlässige Quelle handlungsrelevanter Informationen verstanden, werden dessen Hinweisreize als heuristischer Ersatz für die aufmerksame Informationssuche und Informationsverarbeitung genutzt (Mosier & Skitka, 1996). Bediener wählen ihre Handlungen verstärkt auf Basis der Systemausgaben aus und entwickeln hierbei eine passive Haltung gegenüber der Steuerungsaufgabe.

Dass sich aus diesen Bedienerzuständen Einschränkungen des Situationsbewusstseins (3) bei der Nutzung automatisierter Systeme ergeben können, wurde bereits zuvor gemäß Endsley (1996) eingeführt. Nun lassen sich durch den direkten Bezug zu den spezifischen Bedienerzuständen aber auch konkrete, beobachtbare Verhaltensweisen definieren, die problematische Aufmerksamkeitszustände in den Entscheidungen und Handlungen (a, b) kennzeichnen, bevor ein kritisches Ereignis auftritt.

Die Systemgestaltung (1) wird, im Einklang mit den in Kapitel 2.2 aufgeführten Befunden und den Modellen aus Kapitel 3.1, dabei als der zentrale Einflussfaktor bei der Ausbildung der Erwartungen, Zustände und Verhaltensweisen der Bediener angenommen.

Außerdem wird eine Rückkoppelung zwischen den Bedienerzuständen und Verhaltensweisen bei der Systemnutzung mit den systembezogenen sowie selbstbezogenen Wahrnehmungen der Bediener angenommen.

Da Passivität und verminderte Vigilanz auch Kennzeichen von Monotoniefolgen sind, wird dies zusätzlich in das Modell aufgenommen. So kann die Bedeutung der Systemgestaltung für das im Kontext der Triebfahrzeugführung häufig kritisierte Monotonie-Problem ebenfalls betrachtet werden.

#### 4. EMPIRISCHES VORHABEN

Anhand des entwickelten Modells können nun die theoriebasiert hergeleiteten Wirkungszusammenhänge zwischen Aufmerksamkeitsdefiziten bei SPAD-Ereignissen und der Gestaltung des PZB Zugsicherungssystems empirisch überprüft werden.

Dies soll im Rahmen von Simulatorstudien in der Simulationsumgebung RailSET® (Railway Simulation Environment for Traindrivers and Operators) realisiert werden. Dabei soll Blickbewegungsmessung zum Einsatz

kommen, um Verschiebungen in der Aufmerksamkeitsverteilung zu analysieren. Auch Reaktionszeitmaße und ein Nebenaufgabenparadigma sollen Anwendung finden.

Den Arbeiten liegt die zuvor hergeleitete Annahme zugrunde, dass durch die gegenwärtige Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle Zustände der verminderten Vigilanz und Passivität der Triebfahrzeugführer begünstigt werden und dass diese Zustände durch spezifische Verhaltensweisen gekennzeichnet sind.

Es wird eine eingeschränkte Überwachungsleistung aufgrund der Absicherung durch das System erwartet, die sich in reduzierter Signalbeobachtung, bzw. Signalsuche gegenüber Fahrten ohne Zugsicherung, niederschlägt. Ebenso wird eine höhere Bereitschaft zur Beschäftigung mit (visuellen) Nebenaufgaben angenommen. Weiterhin wird vermutet, dass die Entdeckungsraten von spezifischen oder unspezifischen Cues in der Fahrumwelt, z.B. Gebäude, Ankündigungstafeln oder periphere Detektions-Stimuli, bei der Signalannäherung zurückgehen.

Weiterhin wird von „misuse“ der PZB als Entscheidungsgrundlage für die Steuerungsprozesse ausgegangen, wodurch spätere Bremsensatzpunkte und steilere Bremskurven gegenüber den ungesicherten Fahrten zu erwarten wären. Es wird erwartet, dass Vorsignale später und kürzer fixiert werden. Außerdem wird vermindertes Cross-checking angenommen, das heißt Triebfahrzeugführer führen weniger Kreuzvergleiche zwischen den Quellen von Geschwindigkeitsinformationen (Tacho, Fahrplan, Signale und PZB-Anzeiger) durch.

Für die Untersuchung dieser Hypothesen wurde in einem ersten Schritt eine Strecke in die Simulation übertragen, welche auf Basis von Arbeitsplatzbeobachtungen und Befragungen als anspruchsvoll bezüglich der Aufmerksamkeit zu klassifizieren ist. Sie verfügt neben den Vor- und Hauptsignalen über zahlreiche Bahnübergänge und Langsamfahrstellen, welche ebenfalls durch PZB-Technik (1000Hz-Beeinflussung) abgesichert sind. Diese Streckenelemente erfordern intensive Überwachung, da im Falle einer defekten Bahnübergangssicherung oder einer baulich-bedingten deutlichen Geschwindigkeitsreduzierung eine Missachtung unmittelbar Kollisionen mit dritten (kreuzender Straßenverkehr oder Gleisarbeiter) oder eine Entgleisung verursachen kann, da der Zwangsbremsungseinsatz hier in der Regel nicht vor Erreichen des tatsächlichen Gefahrenpunkts zum Stillstand führen kann.

Die erwartete Diskrepanz zwischen den technischen Systemgrenzen und den Aufmerksamkeitsfolgen der wahrgenommenen Assistenzfunktion sollte unter diesen Bedingungen besonders deutlich werden.

#### 5. AUSBLICK

Zukünftig sollen die Aktivitäten unter der Annahme ausgebaut werden, dass Aufmerksamkeitsdefizite durch die Systemgestaltung nicht nur begünstigt werden können, sondern dass ihnen durch Gestaltungsmaßnahmen auch

gezielt entgegenwirkt werden kann, so dass ein echter Assistenz-Charakter der Zugsicherung erreicht werden kann.

Hierfür lässt sich die Systemgestaltung als erste unabhängige Variable im Modell variieren. Effekte neuer Konzepte der Mensch-Bedien-system-Interaktion lassen sich dann in Bezug auf Referenzwerte, z.B. von Fahrten mit PZB-System oder ganz ohne Sicherung, bewerten.

Eine optimale Lösung muss gemäß dem Modell aber auch die Rahmenbedingungen berücksichtigen. Dafür können als zweite unabhängige Variable die Erfahrungen und die Ziele der Triebfahrzeugführer in die Betrachtung mit aufgenommen werden. Hierfür können z. B. Signalstellungen, die mit der fahrplanmäßigen Routine erlebt werden, oder der Zeitdruck durch eine verspätete Abfahrt gezielt manipuliert werden.

Schließlich sollte die System- und Selbstwahrnehmung als dritter Faktor aufgenommen werden. Aus einer Fragebogenstudie (Giesemann, 2013) liegen bereits Befunde zur passiven und fremdgesteuerten Selbstwahrnehmung im Bahnsystem vor. Diese könnten genutzt werden, um die Triebfahrzeugführer in „Risikogruppen“ zu unterteilen und die Auswirkungen der Systemgestaltung gruppenspezifisch zu ermitteln.

Aufgrund der Rückkoppelung im Modell bieten sich die Einstellungen aber auch als abhängige Variable zur Bewertung neuer Konzepte anhand des resultierenden Gleichgewichts zwischen den wahrgenommenen eigenen Kompetenzen und dem Vertrauen in das technische System an.

## LITERATUR

- Baysari, M. T., McIntosh, A. S. and Wilson, A. R. (2008). Understanding the Human Factors Contribution to Railway Accidents and Incidents in Australia. *Accident Analysis and Prevention*, **40**, 1750–1757.
- Branton, P. (1979). Investigations into the Skills of Train-Driving, *Ergonomics*, **22** (2), 155-164.
- Buck, L. and Lamonde, F. (1993). Critical Incidents and Fatigue among Locomotive Engineers. *Safety Science*, **16**, 1-18.
- Crick, J., McCorquodale, B., Chissick, C., Diamond, H., Lear, A., Page, H. and McGuffog, A. (2004). *Driver Error Data Collection Project: Final Report*. Rail Safety and Standards Board, London, United Kingdom. Online: [http://www.rssb.co.uk/SiteCollectionDocuments/pdf/rerepor/research/T148\\_rpt3\\_final.pdf](http://www.rssb.co.uk/SiteCollectionDocuments/pdf/rerepor/research/T148_rpt3_final.pdf)
- Deutscher Verkehrssicherheitsrat (2006). *Fahrerassistenzsysteme: Beschluss des Gesamtvorstands vom 03. November 2006 auf der Basis der Empfehlung des Ausschusses für Fahrzeugtechnik*. Deutscher Verkehrssicherheitsrat e. V., Bonn, Germany. Online: [https://www.dvr.de/dvr/vorstandsbeschluesse/ft\\_fahrefahrerassistenzsy.htm](https://www.dvr.de/dvr/vorstandsbeschluesse/ft_fahrefahrerassistenzsy.htm)
- Dorrian, J., Roach, G. D., Fletcher, A. and Dawson, D. (2006). The Effects of Fatigue on Train Handling During Speed Restrictions. *Transportation Research, Part F* **9**, 243–257.
- Edkins, G. D. and Pollock, C.M. (1997). The Influence of Sustained Attention on Railway Accidents. *Accident Analyses and Prevention*, **29** (4), 533-539.
- Eisenbahn-Unfalluntersuchungsstelle des Bundes (2012). *Eisenbahn-Unfalluntersuchung Jahresbericht 2011*. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn, Germany. Online: [http://www.eisenbahn-unfalluntersuchung.de/EUB/DE/Publikationen/Jahresberichte/jahresberichte\\_node.html](http://www.eisenbahn-unfalluntersuchung.de/EUB/DE/Publikationen/Jahresberichte/jahresberichte_node.html)
- Eisenbahn-Unfalluntersuchungsstelle des Bundes (2013). *Eisenbahn-Unfalluntersuchung Jahresbericht 2012*. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn, Germany. Online: [http://www.eisenbahn-unfalluntersuchung.de/EUB/DE/Publikationen/Jahresberichte/jahresberichte\\_node.html](http://www.eisenbahn-unfalluntersuchung.de/EUB/DE/Publikationen/Jahresberichte/jahresberichte_node.html)
- Endsley, M. R. (1996). Automation and Situation Awareness. In: *Automation and Human Performance: Theory and Applications* (R. Parasuraman and M. Mouloua (Eds.)), 163-181. Lawrence Erlbaum, Mahwah, USA.
- Endsley, M. R. (2000). Theoretical underpinnings of situation awareness: A critical review. In: *Situation Awareness: Analysis and Measurement* (M. R. Endsley and D.J. Garland (Eds.)), 3-28. Lawrence Erlbaum, Mahwah, USA.
- Giesemann, S. (2013). Automation Effects in Train Driving with Train Protection Systems - Assessing Person- and Task-related Factors. In: *Rail Human Factors. Supporting Reliability, Safety and Cost Reduction* (N. Dadashi, A. Scott, J. R. Wilson and A. Mills. (Eds.)), 139-149. Taylor & Francis, London, United Kingdom.
- Heinrich, H. (1997). Verkehr: Zittern am Signal. *Focus Magazin*, **Nr. 13**. Online: [http://www.focus.de/auto/ratgeber/unterwegs/verkehr-zittern-am-signal\\_aid\\_165272.html](http://www.focus.de/auto/ratgeber/unterwegs/verkehr-zittern-am-signal_aid_165272.html)
- McLeod, A., Walker, G. H. and Mills, A. (2005). Assessing the Human Factors risks in extending the use of AWS. In: *Rail Human Factors: Supporting the Integrated*



- Railway* (J.R. Wilson, B. Norris, T. Clarke and A. Mills (Eds.)), 109-119. Ashgate, Aldershot, United Kingdom.
- Mosier, K. L. and Skitka, L. J. (1996). Human Decision Makers and Automated Decision Aids: Made for Each Other? In: *Automation and Human Performance: Theory and Application* (R. Parasuraman and M. Mouloua (Eds.)), 201-220. Lawrence Erlbaum, Mahwah, USA.
- Naweed, A. (2013). Hurry up and wait: Danger Signals in the Rail Environment. *Ergonomics Australia*, 3:1.
- Naweed, A. and Rainbird, S. (2013). Risk Factors Moderating Driving-related Distraction and Inattention in the Natural Rail Environment. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Driver Distraction and Inattention* (M. A. Regan and T. W. Victor (Eds.)), 37-P. Chalmers University, Gothenburg, Sweden. Online: <http://www.chalmers.se/hosted/ddi2013-en/program/program-papers>
- Nikandros, G. and Tombs, D. (2007). Measuring Railway Signals Passed at Danger. In: *Proceedings of the Twelfth Australian Workshop on Safety Critical Systems and Software and Safety-related Programmable Systems - Volume 86* (T. Cant (Ed.)), 41-46. Australian Computer Society, Darlinghurst, Australia.
- Parasuraman, R., Molloy, R. and Singh, I. L. (1993). Performance Consequences of Automation-induced "complacency". *International Journal of Aviation Psychology*, 3, 1-23.
- Parasuraman, R. (1997). Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse. *Human Factors*, 39 (2), 230-253.
- Parasuraman, R. and Manzey, D. H. (2010). Complacency and Bias in Human Use of Automation: An Attentional Integration. *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 52, 381-410.
- Rail Safety and Standards Board (2013). *RSSB Annual Safety Performance Report, 2012/13: A Reference Guide to Safety Trends on GB Railways*. Rail Safety and Standards Board, London, United Kingdom. Online: [http://www.rssb.co.uk/SPR/REPORTS/Documents/ASPR\\_2012-13\\_FullReport.pdf](http://www.rssb.co.uk/SPR/REPORTS/Documents/ASPR_2012-13_FullReport.pdf)
- Rose, J. R. & Bearman, C. (2012). Making Effective Use of Task Analysis to Identify Human Factors Issues in New Rail Technology. *Applied Ergonomics*, 43, 614-624.
- Roth, E. M., and Multer, J. (2009). *Technology Implications of a Cognitive Task Analysis for Locomotive Engineers*. U.S. Department of Transportation/ Federal Railroad Administration, Washington, D.C. Online: [www.fra.dot.gov/Elib/Document/381](http://www.fra.dot.gov/Elib/Document/381)
- Wilde, G. J. S. and Stinson, J. F. (1983). The monitoring of Vigilance in Locomotive Engineers. *Accident Analysis and Prevention*, 15 (2), 87-93.
- Wright, K., Embrey, D. and Anderson, M. (2000). *Getting at the Underlying Systemic Causes of SPADS: A New Approach*. Human Reliability Associates Ltd, Dalton, UK. Online: <http://www.humanreliability.com/articles/Getting%20at%20the%20underlying%20causes%20of%20SPADs.pdf>